

**Cinco Orientações para o Ensino das Ciências:
a Dimensão CTS no Cruzamento da Didática
e de Políticas Educativas Internacionais**

**Cinco orientaciones para la enseñanza de las ciencias:
la dimensión CTS en el cruce entre la didáctica
y las políticas educativas internacionales**

***Five Orientations For The Teaching Of Science:
The STS Dimension In The Crossing Between Didactics
And International Educational Policies***

Alcina Mendes e Isabel P. Martins *

93

A investigação em educação em ciências tem produzido conhecimento que permite compreender os problemas e fundamentar decisões de ensino das ciências. Algumas organizações internacionais (como UE, OCDE e UNESCO) também têm emitido documentos reguladores de políticas globais de ensino das ciências, assumindo que a qualidade da educação científica é uma condição de prosperidade económica e social dos estados. Neste estudo procedeu-se à revisão sistemática de documentos de natureza académica e de natureza política, relativos ao ensino das ciências, visando identificar quais os seus pontos de convergência. Apurou-se o referencial *Cinco Orientações para o Ensino das Ciências*, que identifica aspetos-chave a priorizar no ensino das ciências e na formação de professores. Verificou-se que as orientações de ensino das ciências de cariz CTS permanecem um campo didático promissor e atual do ponto de vista académico e político.

Palavras-chave: educação em ciências de cariz CTS, orientações para o ensino das ciências, didática das ciências, políticas educativas internacionais

* Alcina Mendes: Agrupamento de Escolas de Ílhavo, Portugal. Correo electrónico: alcinamendes@gmail.com.
Isabel P. Martins: CIDTFF – Universidade de Aveiro, Portugal. Correo electrónico: imartins@ua.pt.

La investigación en educación en ciencias ha producido conocimientos que nos permiten comprender los problemas y fundamentar las decisiones relacionadas con la enseñanza de las ciencias. Algunas organizaciones internacionales (tales como la UE, la OCDE y la UNESCO) también vienen emitiendo documentos normativos sobre las políticas globales de la enseñanza de las ciencias, en el supuesto de que la calidad de la educación científica es una condición para la prosperidad económica y social de los Estados. En este artículo se procedió a la revisión sistemática de documentos de naturaleza académica y política, relacionados con la enseñanza de las ciencias, con el propósito de identificar sus puntos de convergencia. Se llegó al referencial *Cinco directrices para la enseñanza de las ciencias*, que identifica cuestiones prioritarias en la educación científica y en la formación docente. Se verificó que las directrices para la enseñanza de las ciencias de cariz CTS siguen siendo un campo didáctico promisorio y actual tanto desde el punto de vista académico como del político.

Palabras clave: educación en ciencias de cariz CTS, directrices para la enseñanza de las ciencias, didáctica de las ciencias, políticas educativas internacionales

Research in science education has been producing knowledge that grants the understanding of problems and supports science education decisions. Some international organizations (such as EU, OECD and UNESCO) have also been producing documents to regulate global policies of science teaching, assuming that the scientific education is a requirement for economic and social prosperity. In this paper, the authors perform a systematic review of academic and political documents for science education, aiming to identify their points of convergence. The document Five Guidelines For Science Education was established as a standard to identify priorities for science teaching and teachers education. With this document, STS science education becomes a promising educational field and a topical issue from the academic and political point of view.

Key words: STS approach to science education, guidelines for secondary science teaching, didactics of science, international education policies

Introdução

O conhecimento científico de didática constitui um referencial incontornável para o ensino das ciências, mas reconhece-se que organizações internacionais de cariz governamental e não-governamental, como a UE, a OCDE ou a UNESCO também têm influenciado a regulação da educação em ciências à escala global.

Considerando o último meio século de investigação didática e de ações políticas centradas em questões de ensino secundário das ciências, conclui-se que dispomos um de vasto acervo documental, cuja diversidade se manifesta na natureza e na autoridade dos documentos, na afiliação investigativa e epistemológica dos autores, assim como nos contextos sócio-político-educativos a que se reportam.¹

A compreensão deste quadro global e diverso de referências supõe análise, síntese e comparação dos vários contributos, sem esquecer a evolução e o enquadramento histórico em que emergem os novos paradigmas e as recomendações de mudança.

- Quais os principais contributos da investigação em didática que, ao longo das últimas cinco décadas, orientaram o ensino das ciências?
- Que perspetivas de ensino das ciências têm sido veiculadas por organizações internacionais de reconhecida influência?
- Que congruência existe entre os contributos da investigação em didática das ciências e as recomendações de organizações internacionais?

95

Face a estas interrogações estabelece-se o objetivo investigativo de delimitar um quadro de referência atual, de natureza académica e política, capaz de fundamentar decisões de ensino das ciências e de formação de professores.²

1. Contextualização teórica

1.1. Contributos da investigação em didática das ciências

O conhecimento publicado nos últimos 50 anos de investigação em didática das ciências documenta as transformações ocorridas ao nível da concetualização teórica e ao nível das suas repercussões nas práticas de ensino dos professores.

Para efeitos de revisão bibliográfica delimitaram-se quatro períodos da história da investigação em didática das ciências, colhendo inspiração no trabalho de Cachapuz, Praia e Jorge (2002).

1. Níveis ISCE2 e ISCE3 segundo *International Standard Classification of Education: UNESCO (2011)*. Em Portugal engloba o 3º ciclo do ensino básico (13-15 anos) e o ensino secundário (16-18 anos).

2. O estudo insere-se numa investigação mais extensa, realizada no âmbito de doutoramento (Mendes, 2013).

1.1.1. Ensinar para promover aprendizagens de ciências por aquisição

Em meados do século XX predominavam visões empiristas e positivistas de ciência e concepções behavioristas de aprendizagem. Este marco teórico enquadra um ensino transmissivo assente no pressuposto epistemológico de que os alunos podem receber os conhecimentos que lhes são extrínsecos através dos sentidos. Deste modo, os conceitos científicos adquiridos poderiam ser acumulados, e completados, sem necessidade de serem articulados com entidades cognitivas já apreendidas ou já vivenciadas pelos alunos (Vasconcelos, Praia e Almeida, 2003). Num paradigma de ensino por transmissão é ainda plausível que os tópicos programáticos sejam sequenciados segundo uma lógica concetual de cientistas (Aikenhead, 2009) e que os trabalhos práticos sejam desenvolvidos para demonstrar, confirmar ou ilustrar conceitos, leis e teorias que já tenham sido apresentadas por professores.

1.1.2. Ensinar para promover aprendizagens de ciências pela descoberta

A partir dos anos 1960 surgiram novas propostas curriculares e didáticas, globalmente designadas *inquiry teaching*, preconizando ruturas com alguns dos pilares estruturantes da visão transmissiva de ensino das ciências. Os alunos passaram a ser vistos como o centro dos processos educativos, cabendo aos professores organizar ambientes de descoberta guiada, para que aprender ciências decorresse em formatos análogos aos da própria descoberta científica (Barrow, 2006) e aplicando o método científico.

96

Porém, na prática, as atividades de aprendizagem por descoberta guiada consistiram na execução de prescrições que evitavam a obtenção de resultados inesperados pelos alunos, sem pressupor problematização de situações reais, ou análise de quaisquer aspetos socioéticos (Cachapuz *et al.*, 2002). Neste sentido, o ensino por descoberta autónoma, indutiva e incidental, contrariou a própria natureza da metodologia científica em que se pretendia inspirar (Gil Pérez, 1983). Este paradigma de ensino, assentando numa epistemologia empirista, permitiu destacar o papel central dos alunos e valorizar os trabalhos práticos, mas limitou-se à dimensão instrucional do ensino das ciências.

1.1.3. Ensinar para promover aprendizagens de ciências por mudança concetual

Durante a década de 1980, a valorização de uma nova filosofia da ciência (Abimbola, 1983) e de perspetivas cognitivo-construtivistas de aprendizagem permitiu estabelecer um novo corpo teórico de referência para ao ensino das ciências. Surgiram novas linhas de investigação didática centradas na identificação e na compreensão da origem das concepções alternativas dos alunos (Carrascosa, 2005; Wandersee, Mintzes e Novak, 1994), bem como nos processos e nas estratégias didáticas capazes de promover mudanças concetuais (Treagust e Duit, 2008).

Cachapuz *et al.* (2002) salientam que nesta visão de ensino das ciências os professores dispõem de três recursos essenciais: i) mapas de conceitos para aceder às relações concetuais que alunos estão a desenvolver;³ ii) aspetos da história das

3. Estes instrumentos foram propostos por Novak, Gowin e Johansen em 1983.

ciências para estabelecer paralelismos entre as mudanças conceituais desejadas e os momentos pré-científicos que antecederam a aceitação de algumas explicações científicas; e iii) trabalhos experimentais para testar hipóteses prévias dos alunos, destacando-se a utilização do Vê epistemológico proposto por Gowin, em 1981.

Esta perspetiva de ensino das ciências, tal como a perspetiva transmissiva, detém-se porém focada na aprendizagem de conceitos, sem valorizar dimensões mais contextuais, como os interesses e as necessidades pessoais dos alunos, ou as atitudes e os valores necessários à mobilização crítica dos conceitos estudados (Fensham, 2002).

1.1.4. *Ensinar para promover aprendizagens de ciências por pesquisa*

Ainda nos anos 1980 publicaram-se estudos centrados na qualidade e na relevância das aprendizagens científicas. À luz de novos contributos da história e da filosofia das ciências, esses estudos vieram recomendar que o ensino das ciências devesse proporcionar a compreensão de uma imagem adequada dos processos e dos contextos de produção dos conhecimentos científicos pelos alunos. Gil Pérez defende que as aprendizagens científicas deveriam envolver mudança conceitual, mas também metodológica e atitudinal, sugerindo o “ensino como investigação” (1983).

Na década seguinte desenvolveram-se novas linhas de investigação didática focadas na compreensão da natureza das ciências e nas inter-relações ciência-tecnologia-sociedade (CTS), as quais representavam visões mais externalistas e racionalistas de ensino das ciências (Cachapuz *et al.*, 2002).

97

No início da década de 2000, Cachapuz, Praia e Jorge, no âmbito de um trabalho crítico de revisão e reflexão sobre os avanços no ensino das ciências, propõem “um novo enquadramento que designam por perspetiva de ensino por pesquisa” (2002: 171) ao aluno atribuem um “papel ativo de pesquisa e de reflexão crítica sobre as suas maneiras de pensar, agir e sentir”, considerando o professor um “problematizador de saberes e organizador de processos de partilha, interação e reflexão crítica” (p. 143).

Um ensino das ciências de cariz CTS pretende alcançar metas educativas relevantes a nível pessoal, social e cultural (Acevedo *et al.*, 2005; Meyer e Crawford, 2011). Isto exige que os alunos possam desenvolver aprendizagens socialmente enquadradas, valorizando-se a exploração qualitativa de situações e a problematização e identificação de questões pelos (e com) os alunos (Akçay e Yager, 2010; Marco-Stiefel, 1995; Pro, 2012).

Esta nova perspetiva didática também assume o desenvolvimento de uma cultura de participação democrática dos jovens sobre aspetos tecnocientíficos (Cuevas, 2008; Kolstø, 2001; Millar, 2006). De modo a alcançar esta finalidade, ensinar ciências terá de supor a mobilização de aspetos políticos, económicos e éticos associados à exploração didática de casos tecnocientíficos. Esta visão de ensino das ciências pode permitir que os alunos aprendam conceitos científicos, analisem argumentos contraditórios sobre casos tecnocientíficos e suas repercussões na vida dos cidadãos, bem como aprendam a fundamentar cientificamente opiniões, ou a negociar posições (Acar, Turkmen e Roychoudhury, 2010; Martín-Gordillo, 2005).

1.1.5. Breve síntese dos contributos de didática das ciências

Considerando a extraordinária evolução histórica apresentada, destaca-se a rápida evolução das prioridades da investigação em ensino das ciências a partir dos anos de 1990: do interesse por tópicos relativos a aspetos internos aos alunos, como as conceções alternativas e as condições de mudança conceitual, até tópicos mais centrados na influência da introdução de tópicos contextuais na qualidade das aprendizagens (Cachapuz, Paixão, Lopes e Guerra, 2008; Lee, Wu e Tsai, 2009; Tsai e Wen, 2005).

Capitalizando os contributos analisados, poderá afirmar-se que atualmente a investigação em didática recomenda um ensino das ciências adaptável à imprevisibilidade das necessidades dos alunos e dos problemas tecnocientíficos que os rodeiam. Impõe-se, então, que os professores de ciências, para além de uma sólida formação científica e didática, tenham também posturas interrogativas e reflexivas, conducentes à constante avaliação e eventual (re)definição das suas opções didáticas. Trata-se de uma visão de ensino exigente, a qual designamos “ensino por questionamento orientado para promover aprendizagens por pesquisa” (Mendes, 2013).

- Questionamento dos conteúdos a ensinar, procurando relações não comuns entre conceitos, problemáticas adequadas para intervenções didáticas contextualizadas, ou pontes de articulação com outras disciplinas.
- Questionamento da realidade, com atenção crítica a acontecimentos sociais, políticos e culturais, examinando se possuem potencial para contextualizar aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais de ciências.
- Questionamento dos alunos, através de uma atenção permanente às suas características individuais, perscrutando os seus interesses e receios, e formulando perguntas que os estimulem e façam pensar (Chin, 2007).

Trata-se, assim, de uma visão de ensino das ciências capaz de proporcionar uma formação científica de cariz humanista. Mais rica do que a simples compreensão de conceitos e de metodologias científicas, pois visa desenvolver atitudes e competências para agir, de forma responsável e cientificamente fundamentada, em situações que envolvam dimensões tecnocientíficas. Trata-se de uma conceitualização abrangente de ensino das ciências, orientada para a educação científica dos jovens, independentemente de desejarem, ou não, prosseguir estudos e carreiras científicas (Aikenhead, 2009).

1.2. Regulação supranacional do ensino das ciências

Nos últimos 50 anos as organizações internacionais criaram redes de comunicação globais, focadas em aspetos económicos políticos, sociais e educacionais. No âmbito deste estudo optou-se por seleccionar documentos produzidos, ou comissionados, pelas organizações UE, OCDE e UNESCO, visto serem aquelas que mais têm

influenciado as decisões políticas de ensino das ciências de nível secundário à escala global.⁴

1.2.1. O espaço europeu como elemento regulador do ensino das ciências

O interesse da UE na promoção da educação científica dos jovens está patente em várias iniciativas de carácter regulamentar. Poder-se-á considerar que a *Estratégia de Lisboa* (European Council, 2000) foi um marco que conduziu à definição das primeiras políticas de intervenção educativa no espaço europeu. A análise de documentos que traduzem as decisões subsequentes, do Conselho Europeu e da Comissão Europeia, permite destacar algumas decisões importantes. Por exemplo: i) foram definidos *Objetivos, critérios e parâmetros de referência europeus na área da educação* (European Commission, 2002); ii) foi aprovado o *Quadro de referência de competências essenciais para a aprendizagem ao longo da vida* (European Commission, 2007), definindo que as aprendizagens científicas e tecnológicas devem preparar os cidadãos para compreenderem as potencialidades, os riscos e as limitações das ciências e das tecnologias, sobretudo em contextos de tomada de decisão que envolvem valores, questões morais, ou outros aspetos culturais; e iii) foi aprovada a *Agenda para a Cooperação Europeia em Matéria Escolar* (European Commission, 2008), a qual identifica os desafios que os sistemas escolares devem resolver, nomeadamente, de formação dos professores, de qualidade de ensino e de motivação dos alunos.

No acervo de documentos da UE analisado existem vários relatórios de estudos sobre o ensino das ciências no espaço europeu, identificando indicadores e recomendações. Por exemplo: *Ensino das ciências nas escolas da Europa: políticas e investigação* e *O ensino das ciências na Europa: políticas nacionais, práticas e investigação* (Eurydice, 2006 e 2011). Ambos recomendam mais investimento no ensino das ciências de nível não superior, mobilizando referências de didática das ciências para apelar à contextualização das práticas de ensino, nomeadamente explorando episódios de história das ciências e problemas sociais contemporâneas, ou realizando trabalhos práticos e experimentais.

Num outro relatório importante para a regulação das políticas de ensino das ciências na UE, *Science Education Now: a renewed pedagogy for the future of Europe* (Rocard *et al.*, 2007), conclui-se que o desinteresse dos jovens pelos estudos científicos decorre das práticas dos professores de ciências; fundamenta-se esta convicção em estudos como *Europeans, Science and Technology, Europe needs more scientists* (European Commission, 2001, 2004 e 2005); inferindo-se que a falta de preparação dos professores explicará porque persiste na UE um ensino das ciências que valoriza mais a memorização do que a compreensão, ignorando que existem abordagens de ensino mais promissoras, nomeadamente as que envolvem o questionamento e a investigação.

4. Optou-se por utilizar as siglas mais usuais: UE e OCDE para União Europeia e Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Económico, respetivamente; UNESCO para *United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization*.

1.2.2. Contributos da OCDE para a regulação do ensino das ciências

O interesse desta organização supragovernamental pela educação nasce associado a objetivos exclusivamente económicos. Porém, atualmente, a educação é uma área individualizada de interesse da OCDE, pelo que promove e apoia estudos e conferências internacionais sobre aspetos de agenda global, visando reformas educativas de diferentes países (Estrela e Teodoro, 2008).

Citando estudos relativos ao ensino das ciências focados em definir indicadores e propor recomendações, referem-se exemplos centrados em apurar: i) índices de literacia dos jovens de 15 anos sobre matemática, ciências e leitura (por exemplo, OCDE, 2007);⁵ e ii) grau de interesse dos jovens em ciências e tecnologias, cujo relatório (OCDE, 2006) muito influenciou decisões (ou apenas discursos) políticos europeus sobre educação.

A OCDE tem essencialmente promovido a realização de estudos sobre educação em geral, nos quais a análise documental encontrou, porém, aspetos pontuais relativos ao ensino das ciências. Destacam-se, como exemplos, os relatórios seguintes: i) *Education at a Glance: OECD Indicators*;⁶ e ii) *Creating effective teaching and learning environments. First results from TALIS* (OCDE, 2009) e *Review on Evaluation and Assessment Frameworks Portugal 2012* (Santiago, Donaldson, Looney e Nusche, 2012), estes últimos focados na realidade educativa nacional e no trabalho de professores portugueses.

1.2.3. Alguns contributos da UNESCO para o ensino das ciências

A UNESCO tem influenciado bastante a educação a nível mundial através de várias iniciativas, como aconselhamento técnico, edição de documentos, patrocínio de conferências, ou ainda ações de cooperação internacional para a educação.

Realça-se a publicação regular de relatórios globais e sectoriais sobre educação e de estudos internacionais sobre problemas e prioridades educativas, geralmente conduzidos por peritos de reconhecido mérito.⁷ São exemplos históricos os relatórios *A Crise Mundial da Educação -uma análise sistémica* (Coombs, 1968), *Aprender a Ser* (Faure et al., 1972), ou ainda *Educação: Um Tesouro a descobrir* (Delors, 1996).

Referindo iniciativas da UNESCO mais focadas em questões de educação científica, pode citar-se o patrocínio de conferências, como por exemplo, em 1999, *Ciência para o Século XXI: Um Novo Compromisso*, da qual emergiu a recomendação de tornar o ensino científico e tecnológico um bem acessível a todos os povos.

5. *Programme for International Student Assessment*. Disponível em: <http://www.pisa.oecd.org>.

6. Publicação anual, desde 2004, com informação estatística relevante e atualizada sobre aspetos de educação à escala mundial.

7. Por exemplo: *Relatórios Globais sobre Educação* 1991, 1993, 1995, 1998, 2000 e 2010; *Relatórios sobre a Diversidade Cultural no Mundo* 1998, 2000 e 2009; *Relatórios Globais sobre Ciência*, 1993, 1996, 1998, 2005 e 2010; ou *Relatório Global sobre Aprendizagem e Educação de Adultos*, 2009.

No âmbito da iniciativa das Décadas, destacam-se as décadas da *Educação para o Desenvolvimento Sustentável* (2005-2014), *Internacional da Água para a Vida* (2005-2015) ou sobre a *Biodiversidade* (2011-2020).⁸ A escolha deste tipo de problemáticas encoraja a realização de ações de alfabetização científica de jovens e demais cidadãos, preparando-os para compreender problemas e soluções científico-tecnológicas já existentes.

A UNESCO tem tradição de publicar obras orientadoras de práticas de ensino das ciências: por exemplo, em 1956 editou *UNESCO Source Book for Science Teaching* obra de referência para professores em todo o mundo (teve 24 edições e tradução em 30 línguas); ou a publicação *Connect – International Science, Technology & Environmental Education Newsletter*, que discute como a educação científico-tecnológica é importante para a formação dos cidadãos e por que há necessidade de renovar a natureza das práticas dos professores de ciências (UNESCO, 2006a).

Por último, ainda um breve destaque para a produção de documentos orientadores de políticas de educação científica. Apresentam-se dois exemplos comissionados a peritos académicos de didática das ciências: *Guidelines for policy-making in secondary school science and technology education* (Jenkins, 2003) e *Science Education Policy-making: eleven emerging issues* (Fensham, 2008). Estes documentos desafiam os decisores políticos a promoverem a qualidade da educação científica, renovando os currículos e as prioridades de formação dos professores de ciências face às recomendações da investigação educacional.

1.2.4. Breve síntese de contributos sobre regulação supranacional do ensino das ciências

Em vários documentos das três organizações supragovernamentais consideradas existem recomendações de renovação do ensino das ciências, visando substituir um ensino transmissivo, por um ensino mais centrado no aluno e na relevância que as aprendizagens das ciências podem ter para a sua qualidade de vida. Nesse sentido desafiavam-se os professores a proporcionarem experiências de aprendizagem relevantes e diversificadas aos alunos (Fensham, 2008; Jenkins, 2003): organizando atividades orientadas por problemas e questões abertas que exijam raciocínio, diálogo, discussão de pontos de vista e trabalho colaborativo (Eurydice, 2006 e 2011; Rocard *et al.*, 2007); e renovando as práticas de avaliação das aprendizagens, rentabilizando mais as suas funções diagnóstica e formativa (*European Commission*, 2004; Fensham, 2008; Jenkins, 2003; Santiago *et al.*, 2012).

Globalmente os desafios lançados pelas organizações internacionais apelam à contextualização do ensino das ciências, considerando que esta orientação pode evitar aprendizagens dissociadas das experiências da vida dos alunos, das questões da sociedade contemporânea, ou da consciencialização dos aspetos que enformaram a génese dos conhecimentos científicos (*European Commission*, 2004; Eurydice, 2006 e 2011). Em sùmula, as organizações internacionais recomendam que o ensino

8. Calendarização em: <http://www.un.org/en/sections/observances/international-decades/>.

das ciências explore as interações recíprocas que se estabelecem entre a ciência, a tecnologia e a sociedade (Fensham, 2008; Gauthier, 2006; Jenkins, 2003; OCDE, 2006; UNESCO, 2006a).

Os documentos analisados também defendem que algumas competências científicas e tecnológicas só podem ser construídas se os alunos desenvolverem atividades práticas em ambientes e formatos diversificados, por exemplo, trabalhos laboratoriais, consulta de documentação científica, discussão e argumentação ou comunicação em formato oral e escrito. Neste sentido, recomendam que algumas atividades de aprendizagem possam assumir um formato de projeto ou de percurso investigativo, possam envolver tecnologias da informação e possam ocorrer em espaços exteriores à sala aula (*European Commission*, 2007; Eurydice, 2006 e 2008; Fensham, 2008; Jenkins, 2003; Rocard *et al.*, 2007).

Globalmente, os documentos da UE, OCDE e UNESCO mais recentes condenam práticas de ensino das ciências limitadas a aspetos factuais. Consideram que estas práticas distorcem a compreensão dos alunos sobre a verdadeira natureza das ciências e do conhecimento científico, apelando à realização de atividades de ensino que explorem aspetos processuais e culturais das ciências, de produção e de validação de conhecimentos, bem como de reflexão ética sobre os seus diversos impactes (*European Commission*, 2004; Fensham, 2008; Gauthier, 2006). Neste sentido a UE estabelece que as aprendizagens de ciências devem proporcionar o entendimento das características da pesquisa científica, das repercussões do progresso científico nas questões de natureza ética e moral associadas a contextos de tomada de decisão que envolvem saberes científicos e tecnológicos (*European Council*, 2006).

Por último, salienta-se que a articulação dos currículos das disciplinas de ciências e das práticas dos professores que as lecionam são também aspetos muito valorizado pelas organizações internacionais. Estas dimensões estão explícitas em documentos que se referem a aspetos de organização curricular, de programas de formação de professores, ou de organização dos seus tempos de trabalho colaborativo (*European Commission*, 2008; OCDE, 2009; UNESCO, 2006b).

2. Metodologia

Considerando as questões e o objetivo investigativo acima enunciado, o estudo teve por base processos de revisão documental e posterior concetualização. A revisão teórica incidiu sobre diferentes acervos documentais, relacionadas com o ensino das ciências, particularmente de nível secundário, num total de 153 referências:⁹ i) literatura produzida pela investigação em didática das ciências; ii) documentos de

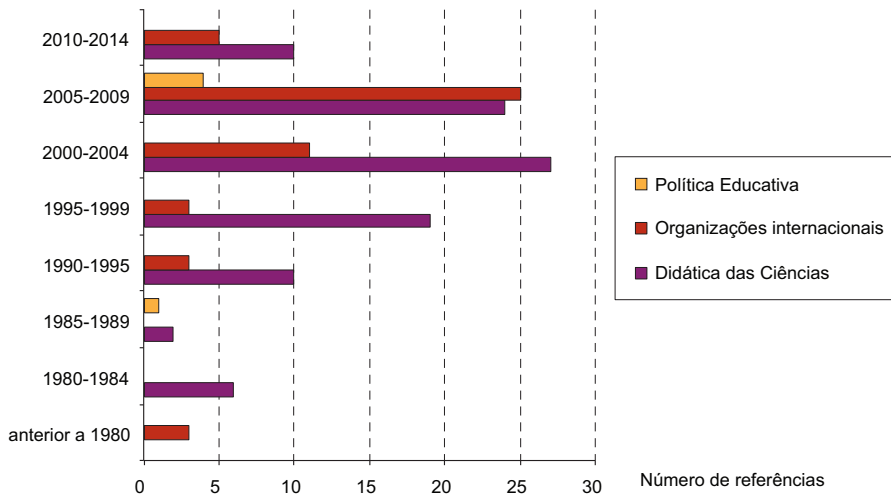
9. Por questões de limitação de espaço seria impossível apresentar todas as referências, pelo que se ajustou o texto de modo a incluir um conjunto que pudesse ser considerado representativo da diversidade de documentos que foram analisados.

organizações internacionais (UE, OCDE e UNESCO) que influenciam políticas de ensino das ciências; e iii) literatura relacionada com investigação em políticas educativas.

A análise de documentos académicos provenientes da investigação em didática das ciências mobilizou 70 artigos de revistas, 16 livros, 9 capítulos de livros, 1 tese de doutoramento e 2 comunicações apresentadas em encontros científicos, totalizando 98 referências. O acervo de natureza supragovernamental envolveu a análise de 24 documentos da UE (nomeadamente, Conselho Europeu, Comissão Europeia e Eurydice), 19 documentos publicados pela UNESCO, 6 pela OCDE e 1 pelo Banco Mundial, totalizando 50 referências. Foram também analisados 5 textos académicos sobre políticas educativas (Carter, 2005 e 2008; Coombs, 1968; Estrela e Teodoro, 2008).

Pretendendo-se construir uma visão abrangente dos contributos fornecidos pelos referenciais escolhidos, nos processos de seleção valorizou-se a atualidade dos documentos, mas também a possibilidade destes proporcionarem compreensão de evolução e de enquadramento histórico das ideias mais recentes. Por esse motivo o acervo documental abrange um intervalo de tempo de publicação alargado (1957 a 2013), cuja dispersão temporal pode ser apreciada através dos dados apresentados no **Gráfico 1**, destacando-se o predomínio dos textos publicados no século XXI (69,3%).

Gráfico 1. Caraterização do acervo documental por quinquénios de publicação



Considerando que a revisão de literatura marcou o desenvolvimento do estudo, importa clarificar os aspetos que foram utilizados para assegurar requisitos de focagem e de pertinência das fontes de informação (Boote e Beile, 2005; Fitt, 2011; Levy e Ellis, 2006). Salienta-se a identificação prévia dos objetivos da pesquisa de referências e a identificação de critérios de seleção de fontes de informação.

Prevendo a dificuldade de lidar com um acervo diverso de documentos, nomeadamente quanto à sua forma e autoridade, exigiam-se critérios suficientemente flexíveis para que pudessem ser aplicados a todos os tipos de documentos (mais académicos, ou mais políticos). Adaptando algumas sugestões referidas na literatura (por exemplo: Brown, 2006; Bryman, 2008), ponderou-se a adequação das possíveis fontes documentais, verificando a clareza das suas finalidades, o seu âmbito e autoridade, bem como a natureza dos seus destinatários e o seu formato. Ou seja, mais especificamente: i) se a intencionalidade do texto era clara e coerente com o teor especializado do discurso; ii) se existiam redes explícitas de articulação concetual com outros estudos ou documentos; iii) se o aprofundamento dos tópicos e o momento histórico a que se reportavam eram relevantes para os objetivos específicos da revisão; e iv) se os textos provinham de literatura especializada, autores ou editores credíveis, preferencialmente publicações que envolvem processos de revisão por pares, ou, no caso de documentos de cariz político, a intervenção de órgãos de soberania (em processos de ratificação, delegação de responsabilidade em individualidades, ou grupos de trabalho).

104

Esta rede seletiva de condições determinou a exclusão de várias fontes, nomeadamente quando se verificava alguma das seguintes condições: i) autor e/ou afiliação impossíveis de identificar; ii) posicionamentos não situados face a uma rede de referências, ou apenas decorrentes de citações secundárias; e iii) publicação exclusiva em páginas pessoais de internet.

A pesquisa de referências foi feita de diferentes formas, nomeadamente: por palavras-chave, por autores, por base de dados, seguindo as referências citadas nos documentos analisados e tentando alcançar a saturação das fontes, isto é, até não serem encontradas novos autores, novas referências, ou novas ideias. Deste modo a revisão de literatura foi sempre considerada inacabada e vista como um sistema orgânico que cresce e se transforma à medida que o estudo se desenvolve (Levy e Ellis, 2006: 208).

3. Resultados

A interpretação dos resultados da revisão de literatura académica e dos documentos produzidos por organizações supranacionais -UE, OCDE e UNESCO- permitiu verificar que, globalmente, não existem contradições concetuais relativas a orientações para o ensino das ciências de nível secundário.

Sem ignorar a possibilidade destes campos não poderem ser considerados totalmente independentes (visto a investigação depender das prioridades de financiamento definidas pelas comunidades internacionais), constatou-se que

existem influências mútuas ao nível dos seus interesses e iniciativas de produção documental. Verificou-se que a comunidade de investigação em didática das ciências se mostra muito atenta às implicações educativas da agenda global e, frequentemente, formula questões de investigação considerando deliberações ou resultados de estudos desenvolvidos por estas organizações internacionais.

Também se apurou que as organizações internacionais valorizam os resultados da investigação em ensino das ciências. Por exemplo, delegando em investigadores de reconhecido mérito a redação de documentos estruturantes de políticas de ensino das ciências, como se verificou no caso da UNESCO com Edgar Jenkins (2003) e Peter Fensham (2008); ou mobilizando referências da investigação em didática das ciências para fundamentar os seus estudos, como acontece nos relatórios Eurydice (por exemplo: 2006 e 2011), ou nos estudos PISA (por exemplo: OCDE, 2007), respetivamente financiados pela UE e pela OCDE.

Com base na análise e síntese dos contributos que foram recolhidas na literatura da investigação em didática das ciências e nos documentos do campo das políticas globais de ensino das ciências, foi construído um referencial simples e consensual, formado por cinco orientações chave para o ensino das ciências.

O referencial *-Cinco orientações para o ensino das ciências* (Mendes, 2013)- visa promover a educação científica dos alunos. Defende uma perspetiva epistemológica de “ensino por questionamento, orientado para promover aprendizagens por pesquisa”, e identifica as componentes de didática que se afiguram necessárias e consensuais para orientar currículos e práticas de ensino das ciências de nível secundário -“centralidade dos alunos, contextualização do ensino, realização de trabalhos práticos, compreensão da natureza da ciência e articulação de disciplinas”- conforme seguidamente se apresenta de forma bastante breve.

105

3.1. Cinco orientações para o ensino das ciências

3.1.1. Centralidade dos alunos

A perspetiva de ensino por questionamento assenta numa conceção construtivista de aprendizagem. Convicta da necessidade de considerar as características dos alunos o elemento central dos processos de decisão didática, parte do pressuposto que estes aprendem melhor ciências se assumirem uma postura de pesquisa. Neste sentido os professores têm o estatuto de especialistas capazes de conceber e organizar ambientes de aprendizagem que captem o interesse dos alunos, envolvendo-os cognitivamente e afetivamente na pesquisa de respostas e na construção de conhecimentos científicos que lhes permitam pensar e agir de forma mais informada e autónoma.

3.1.2. Contextualização do ensino

Um ensino das ciências de natureza construtivista e por questionamento supõe abordagens de ensino contextualizadas. Pretende-se promover aprendizagens significativas e integradas de conceitos e de processos científicos, mas também, de valores e de atitudes cientificamente informadas. O estudo de situações abertas que envolvam os alunos na exploração de inter-relações CTS são estratégias didáticas adequadas para este propósito. A mobilização e a problematização de situações reais

e atuais nas aulas de ciências, criteriosamente selecionadas face aos interesses dos alunos e face aos conteúdos programáticos a lecionar, permite que os alunos se envolvam cognitivamente e afetivamente em percursos de pesquisa de informação devidamente orientados por questões. Deste modo os alunos necessitarão de aprender conceitos, entendendo que estes são instrumentos importantes e indispensáveis para poderem pensar, compreender e agir.

3.1.3. Realização de trabalhos práticos

Práticas de ensino das ciências de cariz questionante e consentâneas com perspectivas construtivistas de aprendizagem valorizam a realização de atividades práticas de natureza diversa e com diferentes graus de abertura. A realização de trabalhos laboratoriais, experimentais e em ambientes exteriores à sala de aula, assim como a pesquisa de informação, a análise e apresentação de pontos de vista fundamentados, bem como a redação de documentos, são exemplos de atividades práticas que permitem desenvolver aprendizagens científicas conceituais, procedimentais e atitudinais diversificadas. Os trabalhos práticos de cariz investigativo permitem compreender melhor o papel dos problemas e das hipóteses, a interdependência da teoria e da experimentação, bem como do estatuto falível dos resultados e dos mecanismos indispensáveis à sua validação.

3.1.4. Compreensão da natureza das ciências

Um ensino das ciências por questionamento supõe uma intencionalidade de promoção da educação científica dos alunos. Exige que o professor conceba intervenções de ensino orientadas para desenvolver imagens adequadas de ciência e de trabalho científico, equilibrando a ênfase atribuída aos conceitos e aos processos de construção desse conhecimento científico. Neste sentido considera-se essencial que os alunos desenvolvam atitudes positivas face às ciências e às tecnologias, compreendendo que estas são acessíveis e importantes para a vida de todos os cidadãos, sendo construções humanas que também traduzem valores e interesses.

3.1.5. Articulação de disciplinas

Quando se defende um ensino das ciências por questionamento, prático e contextualizado, valoriza-se a exploração e problematização de situações que sejam relevantes para os alunos e evitem visões fragmentadas da realidade e do trabalho científico. Esta perspetiva de ensino envolve abordagens de ensino com cariz multidisciplinar, visto a efetiva exploração e compreensão de problemáticas reais exigir a exploração e interconexão de conceitos de diferentes áreas do saber.

Conclusões

Globalmente concluiu-se que os documentos académicos e os documentos de cariz supragovernamental reiteram a importância dos sistemas educativos deverem proporcionar uma efetiva aprendizagem de conceitos científicos considerados estruturantes, mas também apontam a necessidade de concretizar um ensino das ciências que promova a literacia científica, cumprindo o propósito de formar cientificamente os cidadãos.

Verificou-se que o acervo documental analisado apoia a convicção de que ensinar ciências numa perspectiva de educação científica será a forma de preparar os alunos para compreenderem as questões da atualidade, bem como torná-los capazes de participar em processos de tomada de decisão. Em documentos da UNESCO reconhecem-se estas finalidades de ensino das ciências como vias de educação para a paz, para o desenvolvimento sustentável e para a construção de uma cultura de democracia (Fensham, 2008; Jenkins, 2003; UNESCO, 1993 e 2006a).

Um ensino das ciências questionante, e orientado para a promoção da literacia científica dos alunos, subentende abordagens didáticas contextualizadas. Supõe que os alunos conheçam a intencionalidade das pesquisas que realizam e compreendam o valor intrínseco dos conceitos científicos, enquanto instrumentos de compreensão da realidade. Exige práticas de ensino que promovam a realização de atividades práticas, abertas e diversificadas, que possibilitem aprendizagens concetuais, processuais e atitudinais de forma integrada, assim como a construção de imagens adequadas das ciências e dos trabalhos científicos.

Um ensino das ciências centrado nos alunos e contextualizado em problemas reais desafia a mobilização de aspetos que se situam para além do âmbito restrito de uma disciplina científica, exigindo que os professores de diferentes áreas disciplinares articulem as suas práticas de ensino e, certamente também, confrontem as suas concepções didáticas e epistemológicas.

Considera-se que o referencial *Cinco Orientações para o Ensino das Ciências* (Mendes, 2013) se afigura um instrumento concetual capaz ajudar os professores e os decisores políticos a compreenderem como o elevado acervo de informação que atualmente existe disponível possui fortes pontos de convergência e, como tal, se afigura essencial para orientar decisões que envolvem; i) escolhas de estratégias de ensino; ii) prioridades de formação de professores ou ainda; e iii) definição de linhas orientadoras de currículos formais das ciências de ensino secundário.

107

Espera-se que a matriz académica e política subjacente ao referencial *Cinco Orientações para o Ensino das Ciências* possa constituir-se como um enquadramento teórico, básico, estruturante e consensual, acerca da perspectivas epistemológica e dos aspetos didáticos que são atualmente indispensáveis ao desafio da promoção da educação científica dos alunos de ensino secundário, reforçando a pertinência e atualidade do movimento de educação CTS no ensino das ciências.

Referências bibliográficas

ABIMBOLA, I. (1983): "The relevance of the "new" philosophy of science for the science curriculum", *School Science and Mathematics*, vol. 83, n° 3, pp. 181-193.

ACAR, O., TURKMEN, L. e ROYCHOUDHURY, A. (2010): "Student Difficulties in Socio-scientific Argumentation and Decision-making Research Findings: Crossing the borders of two research lines", *International Journal of Science Education*, vol. 32, n° 9, pp. 1191-1206. DOI: 10.1080/09500690902991805.

ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, Á., MARTÍN, M., OLIVA, J. M., ACEVEDO, P., PAIXÃO, M. F. e MANASSERO, M. A. (2005): "Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 2, n° 2, pp. 121-140.

AIKENHEAD, G. (2009): *Educação Científica para todos* (T. Oliveira, Trans.), Serra da Amoreira, Edições Pedagogo.

AKCAY, H. e YAGER, R. (2010): "The Impact of a Science/Technology/Society Teaching Approach on Student Learning in Five Domains", *Journal of Science Education and Technology*, vol. 19, n° 6, pp. 602-611. DOI: 10.1007/s10956-010-9226-7.

BARROW, L. H. (2006): "A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards", *Journal of Science Teacher Education*, vol. 17, n° 3, pp. 265-278. DOI: 10.1007/s10972-006-9008-5.

BOOTE, D. e BEILE, P. (2005): "Scholars Before Researchers: on the centrality of the dissertation literature review in research preparation", *Educational Researcher*, vol. 34, n° 6, pp. 3-15. DOI: 10.3102/0013189X034006003.

BROWN, R. B. (2006): *Doing your dissertation in business and management: the reality of researching and writing*, Londres, SAGE Publications.

BRYMAN, A. (2008): *Social Research Methods* (3ª ed.), Oxford, University Press.

CACHAPUZ, A., PAIXÃO, M. F., LOPES, J. B. e GUERRA, C. (2008): "Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o Caso "Ciência-Tecnologia-Sociedade"", *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, vol. 1, n° 1, pp. 27-49.

CACHAPUZ, A., PRAIA, J. e JORGE, M. (2002): *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências*, Lisboa, Ministério da Educação.

CARRASCOSA, J. (2005): "El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen", *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 2, n° 2, pp. 183-208.

CARTER, L. (2005): "Globalisation and Science Education: Rethinking Science Education Reforms", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, nº 5, pp. 561-580. DOI: 10.1002/tea.20066.

CARTER, L. (2008): "Globalization and Science Education: The Implications of Science in the New Economy", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 45, nº 5, pp. 617-633. DOI: 10.1002/tea.20189.

CHIN, C. (2007): "Teacher questioning in science classrooms: approaches that stimulate productive thinking", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 44, nº 6, 815-843. DOI: 10.1002/tea.20171.

COOMBS, P. H. (1968): *La crise mondiale de l'éducation. Une analyse de systèmes*, Paris, PUF.

CUEVAS, A. (2008): "Conocimiento científico, ciudadanía y democracia", *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad -CTS*, vol. 10, nº 4.

DELORS, J. (1996): *Educação: um tesouro a descobrir - Relatório para a UNESCO da Comissão Internacional sobre Educação para o século XXI*, Porto, Edições ASA.

ESTRELA, E. e TEODORO, A. (2008): "As Políticas Curriculares em Portugal (1995-2007). Agendas Globais e Reconfigurações Regionais e Nacionais", *Espaço do Currículo*, vol. 1(Março-Setembro), pp. 130-165.

109

EUROPEAN COMMISSION (2001): *Eurobarometer 55.2 - Europeans, Science and Technology* (Directorate General Research, Trans.), Bruselas, European Union.

EUROPEAN COMMISSION (2002): *Education and training in Europe: diverse systems, shared goals for 2010*, Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities.

EUROPEAN COMMISSION (2004): *Europe needs more scientists*, Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities.

EUROPEAN COMMISSION (2005): *Special Eurobarometer 224 - Europeans, Science & Technology* (Directorate General Research, Trans.), Bruselas, European Union.

EUROPEAN COMMISSION (2007): *Key Competences for Lifelong Learning – A European Framework*. Em: http://ec.europa.eu/dgs/education_culture/publ/pdf/lil-learning/keycomp_pt.pdf.

EUROPEAN COMMISSION (2008): *Improving competences for the 21st Century: An agenda for European Cooperation on schools*, Bruselas, European Union.

EUROPEAN COUNCIL (2000): *Presidency conclusions*. Lisbon European Council.

EUROPEAN COUNCIL (2006): "Recommendation of the European Parliament and of the Council", *Key competences for lifelong learning*: Official Journal 962/EC.

EURYDICE (2006): *O Ensino das Ciências nas Escolas da Europa: políticas e investigação* (Unidade Portuguesa Eurydice, Trans.), Lisboa, Gabinete de Informação e Avaliação do Sistema Educativo, Ministério da Educação.

EURYDICE (2008): *Níveis de Autonomia e Responsabilidades dos Professores na Europa* (Unidade Portuguesa Eurydice, Trans.), Lisboa, Gabinete de Estatística e Planeamento da Educação, Ministério da Educação.

EURYDICE (2011): *Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research*, Bruselas, Education, Audiovisual and Culture Executive Agency.

FAURE, E., HERRERA, F., KADDOURA, A.-R., LOPES, H., PETROVSKY, A., RAHNEMA, M. e WARD, F. C. (1972): *Learning to be - The world of education today and tomorrow*, París, UNESCO.

FENSHAM, P. (2002): "Science Content as Problematic - Issues for Research", em H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Gräber, M. Komorek, A. Kross e P. Reiska (eds.): *Research in Science Education – Past, Present, and Future*, Netherlands, Springer Netherlands, pp. 27-41.

FENSHAM, P. (2008): *Science Education Policy-making - Eleven emerging issues*, París, UNESCO.

FITT, M. H. (2011): *An Investigation of the Doctoral Dissertation Literature Review: From the Materials We Use to Prepare Students, to the Materials That Students Prepare*, All Graduate Theses and Dissertations, Utah State University, Logan. Em: <http://digitalcommons.usu.edu/etd/1101>

GAUTHIER, R.-F. (2006): *The Content of Secondary Education Around the World: Present Position and Strategic Choices*. Paris: UNESCO.

GIL PÉREZ, D. (1983): Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 1, nº 1, pp. 26-33.

JENKINS, E. (2003): *Guidelines for policy-making in secondary school science and technology education*, París, UNESCO, Division of Secondary, Technical and Vocational Education, Section for Science and Technology Education.

KOLSTØ, S. (2001): "Scientific Literacy for citizenship: tools for dealing with the science dimension of controversial issues", *Science Education*, vol. 85, nº 3, pp. 291-310. DOI: 10.1002/sce.1011.

LEE, M.-H., WU, Y.-T. e TSAI, C.-C. (2009): "Research Trends in Science Education from 2003 to 2007: A content analysis of publications in selected journals",

International Journal of Science Education, vol. 31, nº 15, pp. 1999-2020. DOI: 10.1080/09500690802314876.

LEVY, Y. e ELLIS, T. J. (2006): "A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research" *Informing Science: the International Journal of an Emerging Transdiscipline*. Em: <http://inform.nu/Articles/Vol9/V9p181-212Levy99.pdf>.

MARCO-STIEFEL, B. (1995): "La naturaleza de la Ciencia en los enfoques CTS", *Alambique- Didáctica de las Ciencias Experimentales*, vol. 3, pp. 19-29.

MARTÍN-GORDILLO, M. (2005): "Cultura científica y participación ciudadana: materiales para la educación CTS", *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad -CTS*, vol. 6, nº 2, pp. 123-135.

MENDES, A. (2013): Perfil de ensino do professor de ciências: concetualização e validação, Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro. Em: <http://ria.ua.pt/handle/10773/11486>.

MEYER, X. e CRAWFORD, B. A. (2011): "Teaching science as a cultural way of knowing: merging authentic inquiry, nature of science, and multicultural strategies", *Cultural Studies of Science Education*, vol. 6, nº 3, pp. 527-547. DOI: 10.1007/s11422-011-9318-6.

MILLAR, R. (2006): "Twenty First Century Science: insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science", *International Journal of Science Education*, vol. 28, nº 13, pp. 1499-1521. DOI: 10.1080/09500690600718344.

OCDE (2006): *Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies - Policy Report*. Em: <http://www.oecd.org/dataoecd/16/30/36645825.pdf>.

OCDE (2007): PISA 2006: *Science competencies for tomorrow's world* (Vol. I: Analysis), París.

OCDE (2009): *Creating effective teaching and learning environments. First results from TALIS*. Em: <http://www.oecd.org/edu/preschoolandschool/43023606.pdf>.

PRO, A. (2012): "Las implicaciones sociales del conocimiento científico y tecnológico forman parte de éste y, por lo tanto, de su enseñanza", em E. Pedrinaci, A. Caamaño, P. Cañal y A. Pro (eds.): *11 Ideas Clave - El desarrollo de la competencia científica*, Barcelona, Graó, pp. 171-196.

ROCARD, M., CSERMELY, P., JORDE, D., LENZEN, D., WALBERG-HENRIKSSON, H. e HEMMO, V. (2007): *Science Education Now: A renewed pedagogy for the future of Europe*, Bruselas, European Commission.

SANTIAGO, P., DONALDSON, G., LOONEY, A. e NUSCHE, D. (2012): *OECD Reviews of Evaluation and Assessment in Education*: Portugal 2012.

TREAGUST, D. F. e DUIT, R. (2008): "Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education", *Cultural Studies of Science Education*, vol. 3, n° 2, pp. 297-328. DOI: DOI 10.1007/s11422-008-9090-4.

TSAI, C.-C. e WEN, L. M. (2005): "Research and trends in science education from 1998 to 2002: a content analysis of publication in selected journals", *International Journal of Science Education*, vol. 27, n° 1, pp. 3-14. DOI: 10.1080/0950069042000243727.

UNESCO (1993): *Final report: International Forum on Scientific and Technological literacy for All*, París.

UNESCO (2006a): "Science, Citizenship and Values - keystone to a realistic, pragmatic approach to science education: A Historical Perspective", *Connect - UNESCO International Science, technology & Environmental Education Newsletter*, vol. 31, n° 3-4.

UNESCO (2006b): "UNESCO's role, vision and challenges for the UN Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014)", *Connect - UNESCO International Science, technology & Environmental Education Newsletter*, vol. 31, n° 1-2.

112

VASCONCELOS, C., PRAIA, J. e ALMEIDA, L. (2003): "Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem", *Psicologia Escolar e Educacional*, 7(1), pp. 11-19.

WANDERSEE, J., MINTZES, J. e NOVAK, J. (1994): "Research on alternative conceptions in science", em D. Gabel (ed.): *Handbook of research on science teaching and learning*, Nueva York, MacMillan, pp. 177-210.